

文章编号: 0253-9985(2005)04-0530-07

川西地区浅、中层天然气藏化探判别模型

汤玉平^{1,2}, 刘运黎², 赵耀伟², 陈银节², 陈浙春²

(1 成都理工大学, 四川成都 610059 2 中国石化石油勘探开发研究院

无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214151)

摘要: 川西地区上沙溪庙组储层的物上气甲烷、丙烷、重烃, 酸解烃甲烷、丙烷、重烃, 荧光 320 nm 和 360 nm 等浓度指标及物上气湿度系数、物上气丙烷/甲烷、酸解烃湿度系数、酸解烃丙烷/甲烷、荧光 360 nm/320 nm、荧光 405 nm/320 nm 等比值指标均明显高于蓬莱镇组储层, 具有显著的浓度降或浓度正向梯度, 确实存在烃类的垂向微运移。上沙溪庙组储层天然气三维荧光图谱具有明显的 T₂ 峰, 峰型相对复杂, 与蓬莱镇组储层具有显著的差异性。聚类、模糊聚类、因子分析、非线性映射和对应分析等可以很好地将蓬莱镇组、上沙溪庙组储层划分为两大类, 反映了蓬莱镇组和上沙溪庙组储层具有良好的自然分群特征及可判别性。依据费歇尔准则建立的判别模型表明, 物上气甲烷作用最大, 反映了物上气在井中化探判别天然气储层中的重要作用。

关键词: 油气化探; 判别模型; 川西地区**中图分类号:** TE122.3 **文献标识码:** A

Discriminant model of geochemical prospecting for shallow and Medium depth gas reservoirs in western Sichuan

Tang Yuping^{1,2}, Liu Yunli², Zhao Yaowei², Chen Yinjie², Chen Zhechun²

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan;

Wuxi Institute of Petroleum Geology, Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu)

Abstract For the Shaximiao Formation reservoirs in western Sichuan, both the concentration indexes (such as the methane, propane and heavy hydrocarbon of headspace analysis, the methane, propane and heavy hydrocarbon of acidolysis-hydrocarbon analysis and the fluorescence 320 nm and 360 nm) and the ratio indexes (such as headspace humidity coefficient, headspace propane/methane, acidolysis hydrocarbon humidity coefficient, acidolysis hydrocarbon propane/methane and fluorescence 360 nm/320 nm and 405 nm/320 nm), are obviously higher than that in Penglaizhen Formation reservoirs. Decrease or positive gradient of hydrocarbon concentrations are noticeable, suggesting that hydrocarbon vertical micro-migration do occur. The 3D fluorescence spectrum of natural gas in Shaximiao Fm. reservoirs has apparent T₂ peak, the pattern of which is relatively complex and is remarkably different with that in Penglaizhen Fm. reservoirs. Based on graph theory, fuzzy cluster, factor analysis, nonlinear mapping and correspondence analysis, the reservoir rocks in Penglaizhen and Shaximiao Formations can be divided into two types. They have a good natural grouping features and identifiability. Discriminant model built on Fisher Criteria demonstrates that the function of headspace methane is the largest, indicating that headspace methane is very important in identifying gas reservoirs in the well by geochemical prospecting.

Key words oil and gas geochemical prospecting; discriminant model; western Sichuan

基金项目: 中国新星石油公司(部控)科研项目“四川盆地天然气藏化探判别模型研究”

第一作者简介: 汤玉平, 男, 44岁, 教授级高级工程师, 石油地质和油气化探

收稿日期: 2005-04-21

本文从统计意义上探讨建立川西地区浅层(蓬莱镇组)、中层(上沙溪庙组)天然气藏化探判别模型。以下就参数特征、光谱特征、轻烃特征、数据结构特征等方面探索研究化探判别模型及判别准则,更好地推动油气化探向定量化及正、反演技术方向发展^[1],逐步完善油气化探的技术方法。

1 特征参数

为了研究川西地区浅、中层天然气藏烃类组成及储层地球化学参数特征,进行了川西地区蓬莱镇组(J_p)、上沙溪庙组(J_s)储层岩屑样的物上气、酸解烃、荧光的分析测试和天然气组成分析。

通过对蓬莱镇组和上沙溪庙组储层地球化学参数差异性研究,分析解剖浅、中层天然气藏烃类

参数特征,并初步建立起它们的烃类参数特征判别模型。

1.1 烃类浓度

川西地区各井蓬莱镇组和上沙溪庙组储层的物上气甲烷(WC_1)、丙烷(WC_3)、重烃(WC_2^+);酸解烃甲烷(SC_1)、丙烷(SC_3)、重烃(SC_2^+);荧光 320 nm (F320)、360 nm (F360)等指标均具有明显的差异性^[2 3](表 1)。上沙溪庙组储层各项指标浓度均高于蓬莱镇组储层,表明了下部的上沙溪庙储层烃类浓度高于其上部的蓬莱镇储层,具有显著的浓度降或浓度正向梯度,显示出明显的烃类垂向微运移行迹。反映了蓬莱镇组、上沙溪庙组储层在烷烃和芳烃两序列地球化学特征上的差异性和可判别性。这种显著差异性建立浅、中层气藏化探判别准则和判别模型的基础。

表 1 川西地区蓬莱镇组、上沙溪庙组储层化探指标浓度特征对比表
Table 1 Comparison of concentration indexes for reservoir geochemical prospecting in Penglaizhen and Shaxiniao Fms in western Sichuan

指 标	L651井		CJ607井		CJ619井	
	蓬莱镇组	上沙溪庙组	蓬莱镇组	上沙溪庙组	蓬莱镇组	上沙溪庙组
$WC_1 / (\mu L \cdot L^{-1})$	2 638.10	1 267.50	3.79	89.70	37.73	42.10
$WC_3 / (\mu L \cdot L^{-1})$	73.10	196.30	0.11	71.60	0.47	0.63
$WC_2^+ / (\mu L \cdot L^{-1})$	372.80	752.90	0.51	117.60	2.18	2.53
$SC_1 / (\mu L \cdot Kg^{-1})$	619.90	1 036.30	2 471.00	2 600.00	1 444.00	1 596.00
$SC_3 / (\mu L \cdot Kg^{-1})$	12.70	33.00	95.80	122.00	63.50	61.10
$SC_2^+ / (\mu L \cdot Kg^{-1})$	75.90	172.30	396.20	494.80	220.90	248.80
F320			6.10	5.50	51.10	41.10
F360			8.20	12.50	78.70	57.80
F405			2.80	4.20	29.30	20.80

注: WC_1 —物上气甲烷; WC_3 —物上气丙烷; WC_2^+ —物上气重烃; SC_1 —酸解烃甲烷; SC_3 —酸解烃丙烷; SC_2^+ —酸解烃重烃; F320—荧光 320 nm; F360—荧光 360 nm; F405—荧光 405 nm; 表中空格为无资料

1.2 烃类比值

在浓度特征分析的基础上,进行比值特征研究,提取结构参数。因为比值抑制了一些干扰因素对烃类浓度的影响,更真实地反映了烃类固有的结构特征。

由表 2 可见,川西地区各井蓬莱镇组、上沙溪庙组储层的物上气湿度系数、物上气丙烷/甲烷,酸解烃湿度系数、酸解烃丙烷/甲烷,荧光 360 nm / 320 nm、荧光 405 nm / 320 nm 等比值具有明显的差异性,上沙溪庙组储层各项浓度的比值一般大于蓬莱镇组储层。烃类浓度具有明显的正向梯度或比值降,显示出下湿上干的烃类垂向微运移行迹。

表 2 蓬莱镇组、上沙溪庙组储层各项指标比值特征对比表

Table 2 Comparison of ratio index features for reservoir geochemical prospecting in Penglaizhen and Shaxiniao Fms in western Sichuan

地 层	SC_2^+ / C_1		SC_3 / C_1		WC_2^+ / C_1	WC_3 / C_1	F360 / 320	F405 / 320
L651井	蓬莱镇组	0.14	0.03	0.12	0.02			
	上沙溪庙组	0.59	0.16	0.17	0.03			
CJ607井	蓬莱镇组	0.13	0.03	0.16	0.04	1.34	0.45	
	上沙溪庙组	1.31	0.80	0.19	0.05	2.27	0.76	
CJ619井	蓬莱镇组	0.06	0.01	0.15	0.04	1.54	0.57	
	上沙溪庙组	0.06	0.02	0.16	0.04	1.41	0.51	

注: 表中空格为无资料; 指示符号同表 1

1.3 烃类含量

蓬莱镇组天然气甲烷百分含量高于上沙溪庙组,乙烷等重烃部分则相反(表 3),反映了川西地区中层至浅层天然气湿度不断变小,具有明显的烃类垂向微运移行迹^[4~6]。

表 3 川西坳陷天然气组分

Table 3 Natural gas components in western Sichuan

层 位	组分含量 / %						
	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷
白垩系	96.6	1.70	0.69	0.19	0.18	0.07	0.05
蓬莱镇组	96.2	2.01	0.56	0.14	0.14	0.06	0.04
遂宁组	94.5	3.10	0.68	0.16	0.14	0.05	0.03
上沙溪庙组	94.3	3.06	0.78	0.17	0.18	0.06	0.05
下沙溪庙组	93.8	3.20	1.16	0.21	0.22	0.08	0.11
千佛崖组	87.7	6.32	2.70	0.45	0.75	0.22	0.23
自流井组	91.5	4.33	1.80	0.33	0.50	0.13	0.15
白田坝组	93.3	3.91	1.18	0.30	0.28	0.13	0.09
须家河组五段	91.6	4.87	1.22	0.28	0.22	0.09	0.05
须家河组四段	92.6	4.37	1.23	0.29	0.26	0.11	0.06
须家河组三段	90.2	4.19	0.77	0.20	0.14	0.06	0.04
须家河组二段	95.6	1.90	0.46	0.10	0.09	0.04	0.02

(据中国石化西南石油分公司统计数据)

2 结构特征

由聚类分析(图 1)可知,以距离 $D = 2000$ 为临界点,可很好地将蓬莱镇组和上沙溪庙组储层划分为两大类,反映了蓬莱镇组储层与上沙溪庙组储层具有良好的自然分群特征及可分离性,同时也反映了它们各自内部之间具有相对意义上的相关性或群聚特征。

主坐标分析、模糊聚类分析也表现了与聚类分析相类似的结果。模糊聚类分析以距离系数 0.7 为界点,可将蓬莱镇组和上沙溪庙组储层划分出两大类。

因子分析(图 2)表明,蓬莱镇组和上沙溪庙组储层群聚于不同区间,具有明显的可分离性和可判别特征。非线性映射分析和对应分析也具有类似的结果,即蓬莱镇组储层与上沙溪庙组储层可显著分离,具有明显的差异性,表明了二者之间具有很好的可判别性。

3 烃类特征

为了建立川西地区浅、中层天然气化探判别模型(统计性),进行了化探直接指标即烃类指标特征的判别分析。

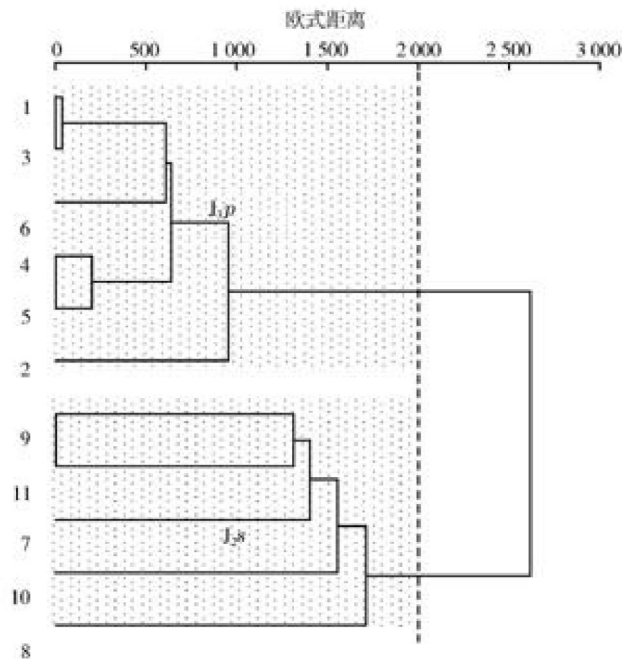


图 1 川西地区蓬莱镇组、上沙溪庙组储层分析谱系图
(注 1-5 为 J_{3p} , 6-11 为 J_{2s} 样品)

Fig. 1 Hierarchical graphs of reservoir analysis
in Penglaizhen and Shaxiniao Fms
in western Sichuan

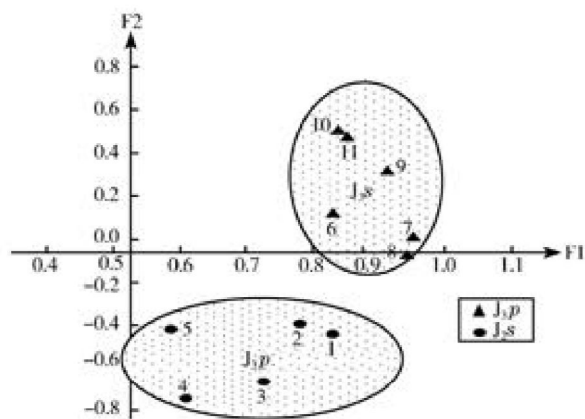


图 2 川西蓬莱镇组、上沙溪庙组储层因子载荷图
Fig. 2 Factor loading diagram of reservoirs in Penglaizhen
and Shaxiniao Fms in western Sichuan

3.1 光谱指标特征

所谓光谱指标即利用三维荧光光谱技术对油气中芳烃物质进行检测、分析。

由图 3 和表 4 可见,蓬莱镇组、上沙溪庙组储层天然气样品的三维荧光图谱总体上显示出气型特征,具有相似性和同源性。但又具有明显的差异性和可判别特征。上沙溪庙组储层 T_1 和 T_2 峰强度比蓬莱镇组储层高出 10 倍,反映了上沙溪庙组储层三维荧光图谱光谱强度明显高于蓬莱镇组储层的特征。

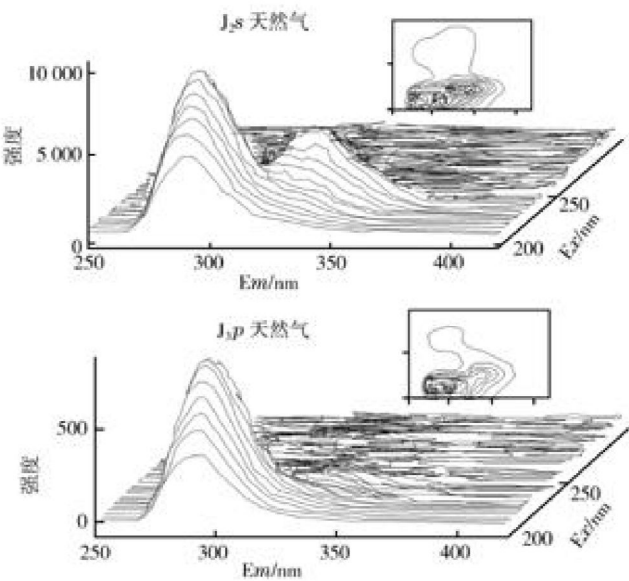


图 3 川西 CX132 井蓬莱镇组、上沙溪庙组天然气三维荧光对比图谱

Fig. 3 3D fluorescence comparison diagram of natural gas in Penglaizhen and Shaximiao Fms in CX132 well western Sichuan

表 4 川西地区蓬莱镇组、上沙溪庙组储层光谱特征参数表

Table 4 Spectral characteristic parameters of reservoirs in Penglaizhen and Shaximiao				
储层	主峰位置	光谱强度	主峰陡度	T ₂ 峰
蓬莱镇组	偏左	低	小	弱
上沙溪庙组	偏右	高	大	显著

3.2 轻烃指标特征^[7]

为了研究川西地区蓬莱镇组、上沙溪庙组储层天然气轻烃指标判别特征,对 CX132 井上沙溪庙组天然气和蓬莱镇组天然气样品进行了轻烃指

标分析。由图 4 可见,上沙溪庙组储层天然气峰型相对简单,蓬莱镇组储层天然气峰型相对复杂。上沙溪庙组储层样品在扫描号 400 附近有一相对显著的特征峰,而蓬莱镇组储层在此位置附近为相对弱的特征峰。

3.3 同步荧光特征

在光谱指标特征分析的基础上,进行了蓬莱镇组、上沙溪庙组储层同步荧光特征研究。

由图 5 可见,蓬莱镇组、上沙溪庙组储层同步荧光差异性显著。

1) 上沙溪庙组储层同步荧光主峰强度显著高于蓬莱镇组储层,约高于蓬莱镇组储层近 10 倍;

2) 蓬莱镇组、上沙溪庙组储层同步荧光图谱主峰位置均在 300 nm 附近,但上沙溪庙组储层样品在 340 和 390 nm 附近有显著的特征峰,而蓬莱镇组储层样品仅在 340 nm 附近有一微弱的特征峰;

3) 上沙溪庙组储层样品同步荧光特征峰相对于蓬莱镇组储层偏重。是芳烃化合物在烃类垂向微运移效应中的表现。

同样,紫外导数对比分析,蓬莱镇组储层与上沙溪庙组储层紫外导数图谱也具有明显差异性,蓬莱镇组图谱相对平缓、稳定,而上沙溪庙组图谱相对起伏较大。

4 相关系数

由表 5、表 6 可见,蓬莱镇组、上沙溪庙组储层

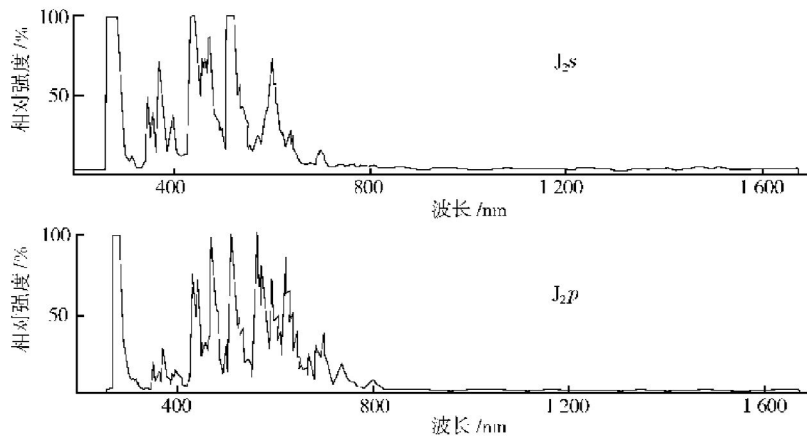


图 4 川西地区 J_{3p}、J_{2s} 天然气轻烃指纹总离子流色谱图

Fig. 4 Total ion-current chromatogram of light hydrocarbon fingerprints of natural gas in Penglaizhen and Shaximiao Fms in western Sichuan

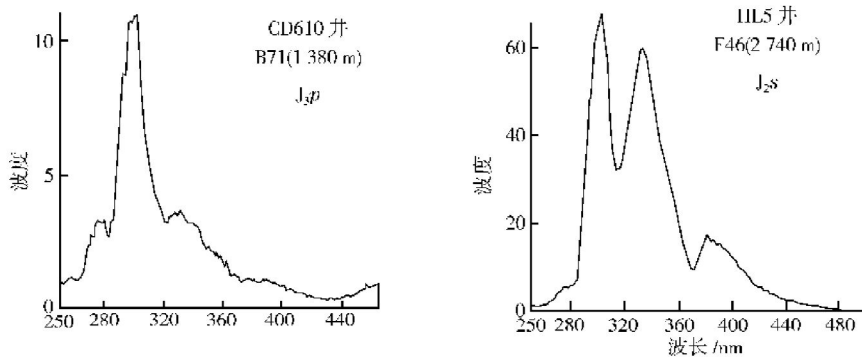


图 5 川西地区 J₃p、J₂s 储层样品同步荧光对比图谱

Fig. 5 Synchronical fluorescence comparison diagram of reservoir samples in Penglaizhen and Shaxiniao Fms in western Sichuan

表 5 川西地区蓬莱镇组样品化探指标相关系数矩阵

Table 5 Correlation coefficient matrix of geochemical prospecting indicators from the samples in Penglaizhen Fm in western Sichuan

指标	WC ₁	WC ₂	WC ₃	WC ₂ ⁺	WC ₁ ⁺	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₂ ⁺	SC ₁ ⁺
WC ₁	1.00									
WC ₂	0.92	1.00								
WC ₃	0.76	0.87	1.00							
WC ₂ ⁺	0.81	0.91	0.99	1.00						
WC ₁ ⁺	1.00	0.94	0.80	0.84	1.00					
SC ₁	-0.20	-0.21	-0.14	-0.17	-0.20	1.00				
SC ₂	-0.25	-0.25	-0.21	-0.24	-0.25	0.86	1.00			
SC ₃	-0.19	-0.17	-0.14	-0.17	-0.19	0.69	0.73	1.00		
SC ₂ ⁺	-0.14	-0.12	-0.05	-0.09	-0.14	0.82	0.95	0.74	1.00	
SC ₁ ⁺	-0.20	-0.21	-0.13	-0.17	-0.20	1.00	0.89	0.72	0.86	1.00

表 6 川西地区上沙溪庙组样品化探指标相关系数矩阵

Table 6 Correlation coefficient matrix of geochemical prospecting indicators from the samples in Shaxiniao Fm in western Sichuan

指标	WC ₁	WC ₂	WC ₃	WC ₂ ⁺	WC ₁ ⁺	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₂ ⁺	SC ₁ ⁺
WC ₁	1.00									
WC ₂	0.86	1.00								
WC ₃	0.73	0.88	1.00							
WC ₂ ⁺	0.75	0.90	0.99	1.00						
WC ₁ ⁺	0.99	0.91	0.83	0.84	1.00					
SC ₁	-0.04	-0.15	-0.17	-0.18	-0.08	1.00				
SC ₂	-0.04	-0.12	-0.13	-0.14	-0.07	0.76	1.00			
SC ₃	0.03	0.00	0.04	0.04	0.04	0.39	0.21	1.00		
SC ₂ ⁺	0.01	-0.04	-0.03	-0.03	0.00	0.73	0.99	0.24	1.00	
SC ₁ ⁺	-0.03	-0.13	-0.14	-0.15	-0.06	0.81	0.97	0.28	0.96	1.00

的酸解烃、物上气内部的相关系数均大于 0.75 具有相似性。但是,物上气与酸解烃间的相关系数,以及酸解烃内部、物上气内部的相关系数蓬莱镇组储层均大于上沙溪庙组储层,反映了蓬莱镇组

储层数据结构相对于上沙溪庙组储层更趋稳定。

5 综合判别模型

在川西地区钻井中选择了有代表性的 10 件

样品, 其中蓬莱镇组储层 4 件, 对每件样品分别选取了 6 个结构变量即 SC_1/SC_1^+ , SC_3/SC_1 , SC_2^+/SC_1 , WC_1/WC_1^+ , WC_3/WC_1 , WC_2^+/WC_1 。这种结构变量消除了浓度高低的影响。选择蓬莱镇组和上

沙溪庙组储层各一件样品作为未知储层样品, 利用判别模型, 判别它们的归属。

依据费歇尔准则建立了蓬莱镇组、上沙溪庙组储层费歇尔判别模型

$$Y = \sum R_i X_i = (-1.892 \ 3.520 - 1.648 \ 0.508 - 0.046 \ 0.241)$$

$$\begin{vmatrix} SC_1/SC_1^+ \\ SC_3/SC_1 \\ SC_2^+/SC_1 \\ WC_1/WC_1^+ \\ WC_3/WC_1 \\ WC_2^+/WC_1 \end{vmatrix}$$

式中 Y 为判别预测值; R 为变量系数; SC_1/SC_1^+ 为酸解烃甲烷与酸解烃总烃之比; SC_3/SC_1 为酸解烃丙烷与酸解烃甲烷比值; SC_2^+/SC_1 为酸解烃重烃与酸解烃甲烷比值; WC_1/WC_1^+ 为物上气甲烷与物上气总烃之比; WC_3/WC_1 为物上气丙烷与物上气甲烷比值; WC_2^+/WC_1 为物上气重烃与物上气甲烷比值。

经 F_α 检验, $F_\alpha = 40.71$, 查表 $F_{(m, n-m-1)}^{0.05} = 4.76$, $F_\alpha = 40.71 > 4.76$ 模型有效, 可用于判别预测。

综合判别指标临界值 F_c 为 -135.75 , Y 值 > -135.75 判归蓬莱镇组; Y 值小于 -135.75 判归上沙溪庙组。各变量贡献值 $WC_1/WC_1^+ = 32.04\%$, $WC_2^+/WC_1 = 26.55\%$, 贡献最大, 反映了物上气在井中化探判别天然气储层中的重要作用, 与井中储层化探异常模式相吻合^[8]。

以费歇尔判别模型为基础, 结合前述烃类指标判别模型及结构特征判别模型, 可归纳井中蓬莱镇组、上沙溪庙组储层的综合判别模型 (表 7)。

表 7 川西地区蓬莱镇组、上沙溪庙组储层综合判别模型
Table 7 Comprehensive discriminant model for reservoirs in Penglaizhen and Shaximiao Fms in western Sichuan

储层	蓬莱镇组	上沙溪庙组
费歇尔准则判别	$y_0 > -135.75$ $y_{\text{综合指标}} = -132.94$	$y_0 < -135.75$ $y_{\text{综合指标}} = -137.63$
相关系数	蓬莱镇组 > 上沙溪庙组 蓬莱镇组 < 上沙溪庙组	
烃类浓度及湿度		
天然气组分 $C_1/\%$	96.23	94.25
结构特征 (映射分析)	$y_1 < 8$	$y_1 > 8$
	$y_2 < 6$	$y_2 > 6$
光谱指标	$F_1 < 300$	$F_1 > 800$
轻烃指标	正烷烃主峰- NC_{15}	正烷烃主峰- NC_{11}
同步荧光	T_2 峰 (340 nm) 显著 主峰强度 < 50	T_2 峰 (340 nm) 不显著 主峰强度 > 50

利用该综合判别模型可以对未知的储层进行判别和预测, 对于判别归类不清或无法归类者, 可能为非蓬莱镇组和上沙溪庙组储层样品, 也可能样品受到污染。当然这种判别模型建立是初步的、探索性的, 有待于进一步完善。

参 考 文 献

1 汤玉平, 龚维祺, 伍大俊, 等. 油气化探异常类型及成因机理研究 [A]. 见: 程同锦, 戴联善, 编. 第四届全国油气化探学术会议论文集 [C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998 19~ 25

Tang Yuping Gong Weiqi Wu Dajun, et al On the anomaly types and genetic mechanism of oil& gas geochemical prospecting [A]. In: Cheng Tongjin Dai Lianshan ed Papers from the 4th National Symposium of Petroleum Geochemical Exploration [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press 1998 19~ 25
2 汤玉平, 蒋涛. 油气藏不同部位 ΔC 差异性分析 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 76~ 77
Tang Yuping Jiang Tao Differential analysis of ΔC in different parts of oil and gas pool [J]. Oil & Gas Geology 1999, 20(1): 76~ 77
3 汤玉平, 唐艳玲. 荧光光谱在烃类垂向微运移研究中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 370~ 371

- Tang Yuping, Tang Yanling. Fluorescence spectrum and its application in hydrocarbon's vertical migration [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 370–371
- 4 杨育斌, 张金来, 吴学明, 等. 油气地球化学勘查 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1995: 1–5
- Yang Yubin, Zhang Jinlai, Wu Xueming et al. Geochemical prospecting for oil and gas [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1995: 1–5
- 5 吴传璧, 施俊法. 上置晕与物质的“类气相”垂向迁移 [J]. 地学前缘, 1998, 5(1–2): 185–192
- Wu Chuanbi, Shi Junfa. Superimposed halo and quasigas vertical migration of matter [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(1–2): 185–192
- 6 汤玉平, 刘运黎, 陈听华, 等. 烃类垂向微运移的地球化学效应及其机理讨论 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 431–436
- Tang Yuping, Liu Yunli, Chen Xinhua et al. On the geochemical effect of hydrocarbon's vertical migration and its mechanism [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(5): 431–436
- 7 苟捷. 天然气烃指纹分析在气藏地球化学描述中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 349–353
- Gou Jie. Application of hydrocarbon fingerprint analysis to geochemical description of gas pools [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(3): 349–353
- 8 汤玉平, 丁湘玉. 井中化探异常模式及快速评价系统 [J]. 物探化探计算技术, 1997, 19(2): 158–162
- Tang Yuping, Ding Xiangyu. Geochemical anomaly patterns and a quick site evaluation system in well geochemical prospecting for oil and gas [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 1997, 19(2): 158–162

(编辑 李树森)

海域油气的战略地位

根据法国石油研究院 Bernard C D 于 2003 年底统计, 全球海上石油储量占全球总储量的 22%, 达到 $327\,912.75 \times 10^8 \text{ L}$ (2750×10^8 桶)。2002 年海上的产油量占全球总产量的 32%, 达到每天 $27.90 \times 10^8 \text{ L}$ (23.4×10^6 桶); 全球海上天然气储量占全球总储量的 36%, 为 $190 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年产气量占总产量的 25%, 约为 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

石油工业界越来越关注深水区 (水深大于 500 m) 的油气, 油气田开发的水深在不断加深, 自 20 世纪 70 年代后期超过 300 m 后, 到 2002 年已超过了 2 000 m。目前, 深水油气勘探开发主要分布在墨西哥湾、巴西、西非、北非及东南亚海域。全球用于深水区油气项目的投资也不断相应增加, 1996 年还不足 2%, 到 2002 年就达到了 6%, 预计 2010 年将达到 10%。实际上, 目前已知的深水区油气资源量并不大, 大约只占全球已知总资源量的 3%, 为什么并不雄厚的资源却引起石油工业界如此关注, 而且投资力度这么大? 原因是已有实践显示, 深水区勘探成功率较高, 并发现了巨型油气田, 油气分布区也广泛, 尤其是分布在非欧佩克控制区。

据 1997 年统计 (Harper), 世界深水区总的勘探成功率超过 30%, 其中西非最高, 达到 48%, 到 2001 年, 全球已发现的储量大于 $597 \times 10^8 \text{ L}$ (5×10^8 桶) 油当量的深水油气田达到 33 个, 其中, 西非和墨西哥湾为油气田, 欧洲、亚洲、澳大利亚等主要是气田。

深水油气勘探给地质科学提出了挑战性课题, 主要是: 1) 研究大陆架地区陆壳与洋壳结合部位的构造地质特征、成因机制及其与油气的关系, 以了解基本的油气系统特征; 2) 研究浊流沉积特征, 以了解储集层的分布; 3) 关注岩盐层的沉积分布、流动性及其对油气成藏的作用。

深水油气田的勘探开发技术更具挑战性。一是地震技术, 包括厚层盐下成像、大数据量的叠前深度偏移技术、消除多次波技术、有限差分偏移技术、并提高解释精度, 以圈定浊积砂岩分布范围; 应用烃类直接检测技术预测油气存在及可能规模; 二是钻井及井筒配套技术, 包括穿过厚盐层、钻入高温高压地层等; 三是开采深水油气田还将遇到油田建设、油气输送、安全环保、恶劣气候条件等多方面新难题。

深水区勘探开发活动的升温, 促使许多国家的油气科研人员致力于这一领域的研究活动, 在第 32 届国际地质大会上不但特邀法国石油研究院 Duval 先生做了大会演讲, 还收到了有关专题论文 12 篇, 其中, 以研究深水区油气系统的论文最多, 其次, 有关构造、源岩、储层及油气运聚方面的论文都有。研究的热点地区包括: 墨西哥湾、西非、俄罗斯周边海域及北极极地海域等。

(侯鸿斌、钱基供稿)